

М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук, І.О. Скриннік, асп.,
Д.В. Богатирьов, ст. викл., канд. техн. наук, М.О. Скриннік, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Експериментальні дослідження впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на показники роботи

В статті наведені експериментальні дослідження і встановленні основні закономірності впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі

каскад, зерносушарка, киплячий шар насіння

Сушіння зерна та насіння є основною технологічною операцією по приведенню його в стійкий стан. Необхідність і своєчасність штучного сушіння зернових культур викликана підвищеною післязбиральною вологістю. До 80% врожаю всіх зернових культур, що поступають на хлібозбиральні підприємства або на токи господарів, мають підвищену вологість під час збирання до 35-45% і обов'язково потребують додаткового сушіння. Тому забезпечення стійкого збереження і стабілізація якості насіння можуть бути досягнуті тільки своєчасним, якісним і інтенсивним сушінням [1].

На сьогодні запропоновано багато технічних рішень для сушіння насіння за фізико-механічними властивостями. Але слід відмітити, що більшість з них не забезпечують агротехнічні вимоги або економічно не ефективні [2].

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію зерносушарки каскадного типу [3].

Мета дослідження полягає у визначенні основних закономірностей впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі.

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження оптимальних значень факторів було виготовлено лабораторну установку (рис. 1).

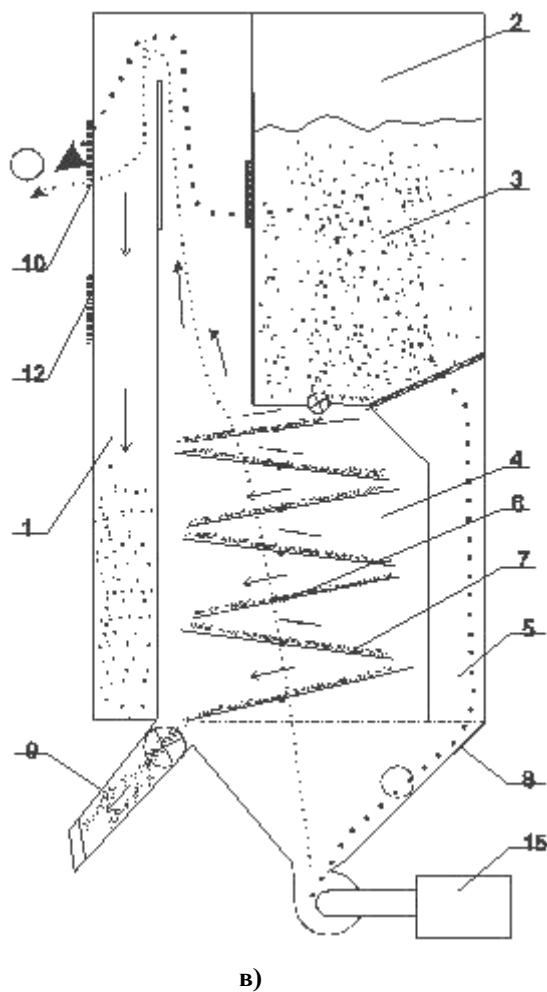
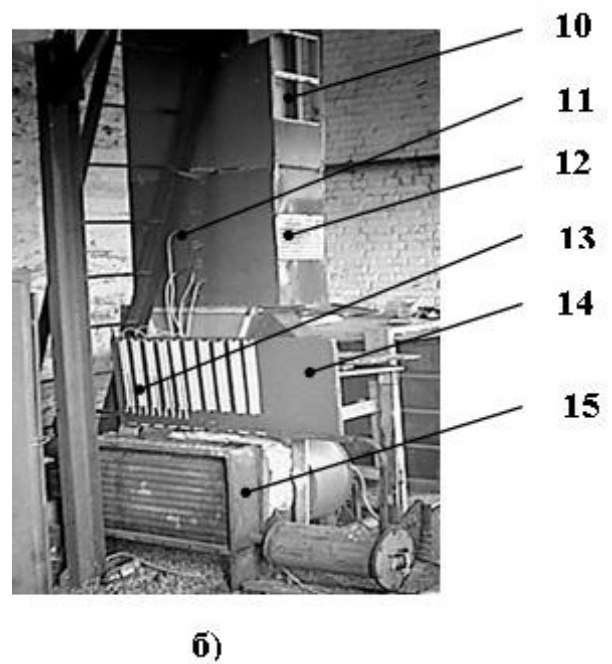
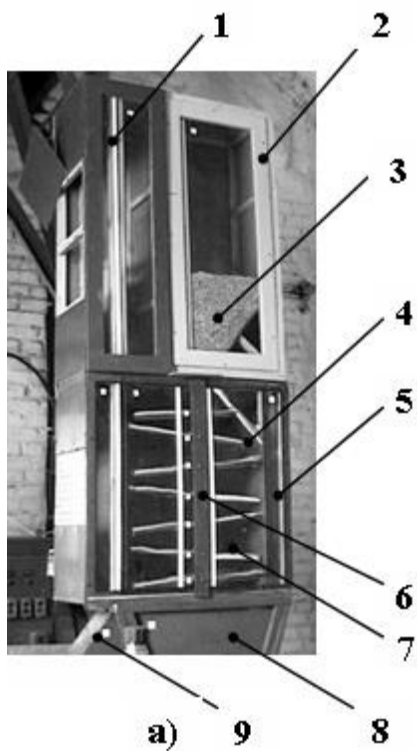
Виходячи з теоретичних досліджень, визначено, що чинниками які впливають на параметри оптимізації є:

– геометричні параметри: кут нахилу каскадів α ; товщина шару матеріалу h ;

Параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Рівні варіювання факторів

| № п.п. | Фактори | | Рівні варіювання | | Нульовий |
|--------|--|------------|------------------|------------|----------|
| | Найменування | Позначення | Верхній (+) | Нижній (-) | |
| 1 | Тиск в конфузори P_1 , кПа | X_1 | 60 | 50 | 55 |
| 2 | Тиск в трубопроводі попереднього прогріву. P_2 , кПа | X_2 | 25 | 0 | 12,5 |
| 3 | Температура агента сушки в конфузори t_1 , $^{\circ}\text{C}$ | X_3 | 130 | 110 | 120 |
| 4 | Температура агента сушки в трубопроводі попереднього прогріву t_2 , $^{\circ}\text{C}$ | X_4 | 50 | 0 | 25 |
| 5 | Товщина шару матеріалу h , мм | X_5 | 20 | 10 | 15 |
| 6 | Кут нахилу касет (каскадів) α , град | X_6 | 2,75 | 1,25 | 2,0 |



а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) схема лабораторної установки;
 1–осадова камера; 2–бункер; 3–матеріал; 4–сушильна камера; 5–труба для попереднього нагріву; 6–шарніри для регулювання каскадів; 7–каскади; 8–дифузор; 9–труба для вивантаження матеріалу; 10, 12–сітка для відводу відпрацьованого теплоносія; 11–термометри опору; 13–U-подібні рідинні манометри; 14–щит з контрольно вимірювальними приладами; 15–теплогенератор.

Рисунок 1 – Загальний вигляд лабораторної установки

Можливість відтворюваності даних експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G), а отриману модель перевіряли на адекватність за допомогою критерію Фішера (F) табл. 2.

Параметри оптимізації в даному випадку були вибрані наступні:

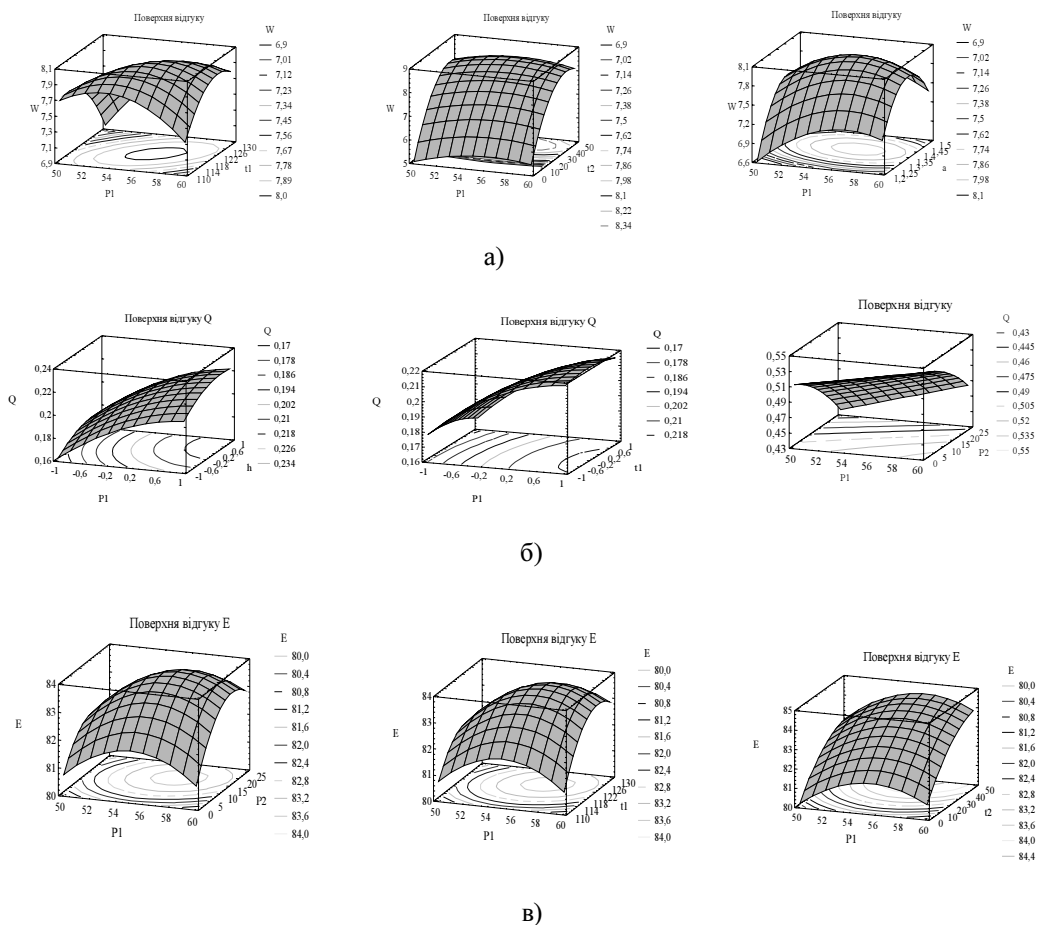
Y_1 – ефект сушіння (W), %; Y_2 – продуктивність (Q), т/год.; Y_3 – енергетичні витрати (E), кДж/кг.

Таблиця 2 – Статистична оцінка нелінійних моделей.

| № п/п | Параметр оптимізації | Критерій Кохрена | | Критерій Фішера | |
|----------|--------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | G ^p | G ^T | F ^p | F ^T |
| Пшениця | | | | | |
| 1 | Ефекти сушіння (W) | 0,107 | 0,191 | 0,05 | 2,7 |
| 2 | Продуктивність (Q) | 0,064 | | 0,295 | |
| 3 | Питомі енергетичні витрати (E) | 0,120 | | 1,4 | |

Для визначення взаємозв'язку між конструктивними та технологічними параметрами, визначення їх оптимального варіанту в роботі проведено математичне планування експерименту.

Процедуру планування експерименту, визначення суттєвості факторів та комплекс обчислень здійснювали, використавши модуль Design of Experiment (DOE) STATGRAPHICS plus for Windows (рис. 2).



а) для технологічного ефекту сушіння (W); б) для продуктивності (Q); в) для енергетичних витрат (E).

Рисунок 2 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використали відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 3).

На карті Парето наочно можна побачити фактори та їх взаємозв'язки, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка являє 95% тест для визначення значимості, а також підтверджується графіками головних ефектів і відповідного розподілу.

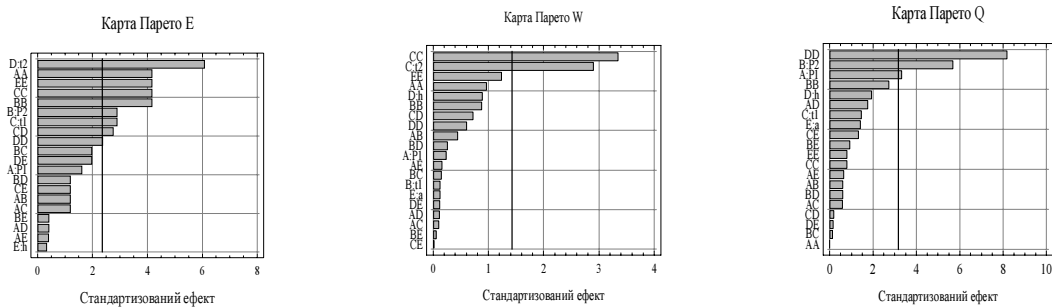


Рисунок 3 – Межа статистичного значення коефіцієнту математичного чекання

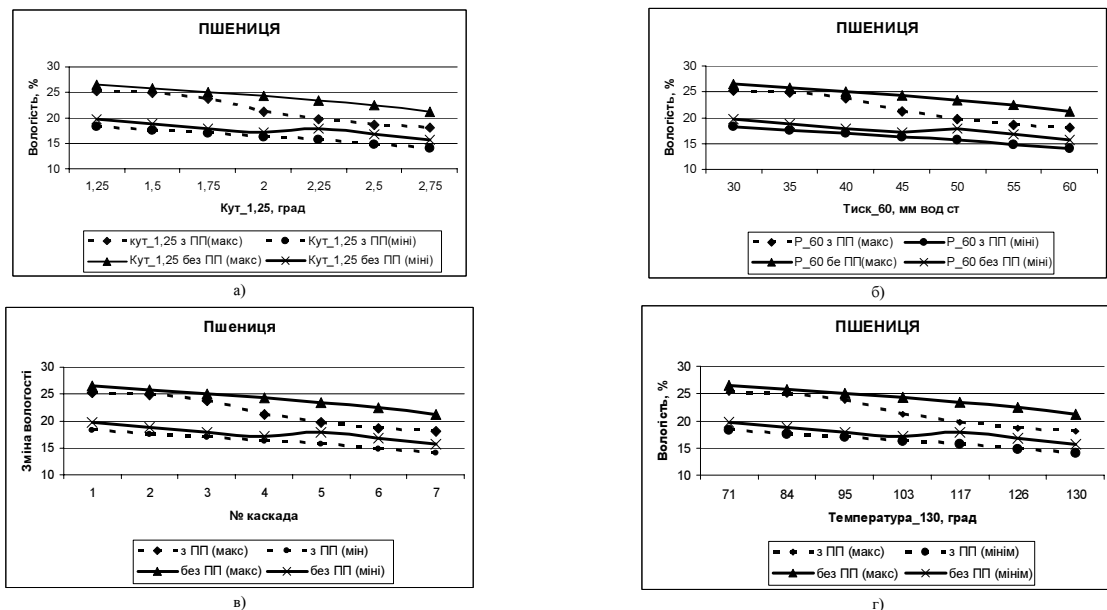
Після проведення серії дослідів, побудови Парето-карт для трьох параметрів оптимізації та побудови поверхонь відгуків, були побудовані рівняння регресії в кодованих чинниках для трьох параметрів оптимізації:

$$Y_1=W= 17,439 - 0,263 \cdot X_1 + 0,344 \cdot X_3 - 1,483 \cdot X_4 + 1,042 X_5 - 0,344 \cdot X_6 + 0,442 \cdot X_1^2 - 0,382 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,749 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,343 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,101 \cdot X_1 \cdot X_6 + 0,485 \cdot X_3^2 - 0,468 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,194 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,452 \cdot X_3 \cdot X_6 + 1,466 \cdot X_4^2 - 0,124 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,172 \cdot X_4 \cdot X_6 + 0,225 \cdot X_5^2 - 0,382 \cdot X_5 \cdot X_6 + 0,600 \cdot X_6^2$$

$$Y_2=Q= 0,524 + 0,024 \cdot X_1 - 0,037 \cdot X_2 + 0,013 \cdot X_3 + 0,051 \cdot X_5 + 0,024 \cdot X_6 - 0,009 \cdot X_1^2 + 0,025 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,005 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,014 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,040 \cdot X_1 \cdot X_6 - 0,019 \cdot X_2^2 + 0,034 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,014 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,007 \cdot X_2 \cdot X_6 - 0,001 \cdot X_3^2 + 0,022 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,020 \cdot X_3 \cdot X_6 - 0,015 \cdot X_5^2 + 0,008 \cdot X_5 \cdot X_6 - 0,001 \cdot X_6^2$$

$$Y_3=E=83,591 + 0,385 \cdot X_1 + 0,694 \cdot X_2 + 0,694 \cdot X_3 + 1,462 \cdot X_4 + 0,077 \cdot X_5 - 1,063 \cdot X_1^2 + 0,346 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,346 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,115 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,114 \cdot X_1 \cdot X_5 - 1,063 \cdot X_2^2 - 0,579 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,348 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0,115 \cdot X_2 \cdot X_6 - 1,063 \cdot X_3^2 - 0,810 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,346 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,604 \cdot X_4^2 + 0,578 \cdot X_4 \cdot X_5 - 1,063 \cdot X_5^2$$

Після проведення експериментальних дослідів та зняття відповідних показників, котрі впливають на параметри оптимізації, були побудовані графіки вологоз'єму з попереднім прогрівом та без попереднього прогріву (рис. 4).



а) – від кута нахилу каскаду; б) – від тиску; в) – від кількості каскадів; г) - від тиску.

Рисунок 4 – Графіки вологоз'єму зернової культури пшениці

В результаті проведення експериментальних досліджень отримані наступні раціональні значення параметрів зерносушарки каскадного типу при яких підвищується ефективність сушіння (W), продуктивність (Q) і зменшуються енергетичні витрати (E). Значення чинників представлені в табл. 5-7.

Таблиця 5 – Раціональні значення параметрів зерносушильної установки каскадного типу для підвищення ефективності сушіння $W, \%$

| Тиск в сушильній камері P_1 , мм.вод.ст | Температура в сушильній камері t_1 , °C | Температура в трубі попереднього прогріву t_2 , °C | Товщина шару матеріалу h , мм | Кут нахилу робочих каскадів α , ° |
|---|---|--|---------------------------------|--|
| Пшениця ($W = 8.0-8.3\%$) | | | | |
| 58-60 | 118-126 | 35-50 | 14-16 | 1.3-1.4 |

Таблиця 6 – Раціональні значення параметрів зерносушильної установки каскадного типу для підвищення продуктивності $Q, \text{т/год}$

| Тиск в сушильній камері P_1 , мм.вод.ст | Тиск в трубі попереднього прогріву P_2 , мм.вод.ст | Температура в сушильній камері t_1 , °C | Товщина шару матеріалу h , мм | Кут нахилу робочих каскадів α , ° |
|--|--|---|---------------------------------|--|
| Пшениця ($Q = 0.218-0.55 \text{ т/год}$) | | | | |
| 58-60 | 0-50 | 118-126 | 14-16 | 1.3-1.4 |

Таблиця 7 – Раціональні значення параметрів зерносушильної установки каскадного типу для зменшення енергетичних витрат E , кДж/кг

| Тиск в сушильній камері P_1 , мм.вод.ст | Тиск в трубі попереднього прогріву P_2 , мм.вод.ст | Температура в сушильній камері t_1 , °C | Температура в трубі попереднього прогріву t_2 , °C | Товщина шару матеріалу h , мм |
|---|--|---|--|---------------------------------|
| Пшениця ($E = 84-84.4 \text{ кДж/кг}$) | | | | |
| 58-60 | 0-50 | 118-126 | 35-50 | 14-16 |

Аналізуючи табличні дані та графіки вологості, була побудована номограма для визначення ефекту сушіння, продуктивності та енергетичних витрат котрі необхідно визначати в процесі сушіння насіння в киплячому шарі зерносушарки каскадного типу (рис. 5). На графічних залежностях видно, що сушіння насіння з попереднім прогрівом набагато ефективніше, як з точки зору ефекту сушіння, так і з точки зору часу сушіння.

Отримані вищенаведені залежності у вигляді графіків, таблиць та номограм показують, що під час процесу сушіння насіння в киплячому шарі на каскадах зерносушарки впливають як параметри сушарки (робочий тиск, кут нахилу каскадів, геометричні розміри решета та його аеродинамічний опір) так і фізико-механічні властивості насіння (форма, вага, шорсткість) та шару в цілому (кут укладки, порозність шару).

Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів зерносушарки каскадного типу, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (ефект сушіння для зернових культур $W=8-8,3\%$, продуктивність $Q=0,22-0,55 \text{ т/год}$, при енергетичних витратах $E = 84-84,4 \text{ кДж/кг}$):

- тиск в сушильній камері – $P_1=58-60 \text{ мм.вод.ст.}$;
- температура в сушильній камері – $t_1=118-126 \text{ °C}$;
- товщина шару матеріалу – $h=14-16 \text{ мм}$;
- кут нахилу робочих каскадів – $\alpha=1,3-1.4 \text{ °}$;

- температура в трубі попереднього прогріву $t_1=35-50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- тиск в трубі попереднього прогріву $P_2=0-50\text{ мм.вод.ст.}$

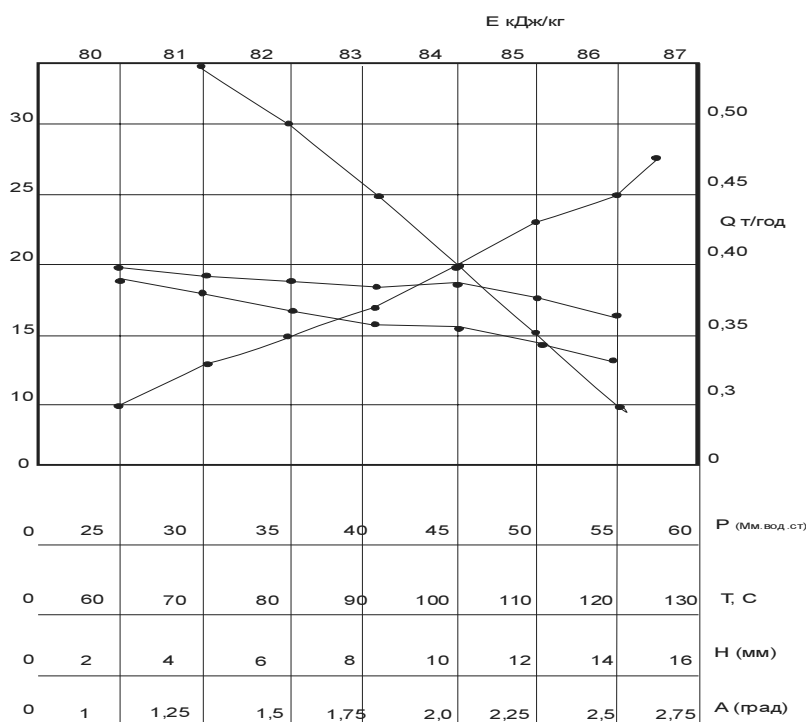


Рисунок 5 – Номограма для визначення ефекту сушіння (W), продуктивності (Q) та енергетичних витрат (E)

Список літератури

1. Котов Б.І., Коваль С.М., Шустик Л.П., Цема Т.В. Технічні засоби для зберігання зерна в господарствах України // Пропозиція, 1999. № 11. – С. 25-27.
2. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 496 с.
3. Петренко М.М., Скриннік І.О. Зерносушильна установка касетного типу // Збірник наукових праць КДТУ (техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 15. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – С.323 - 328.

В статье рассмотрено экспериментальные исследования влияния параметров зерносушилки каскадного типа на показатели работы. Приведенные исследования, позволяют практически определить рациональные режимы сушилки с учетом особенностей сушки в кипящем слое.

In the article motion of seed is considered for to the cascades of the installation for dry grain in the boiling layer. Researches which allow in theory to define the structural parameters of dryer taking into account the features of motion of seed are resulted.

Одержано 01.11.06